

На правах рукописи

МАМЕДОВА Лола Энверовна

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ НИЗКОАМПЛИТУДНЫХ
КАРДИОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ СТАТИСТИЧЕСКИХ И
СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Специальность: 01.04.03 – радиофизика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Казань – 2012

Работа выполнена на кафедре радиоастрономии Института физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Тептин Герман Михайлович

Научный консультант: доктор медицинских наук, профессор
Латфуллин Ильдус Анварович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Смоляков Борис Петрович

доктор технических наук, профессор
Даутов Осман Шакирович

Ведущая организация: Казанский физико-технический
институт им. Завойского

Защита диссертации состоится «21» февраля 2012 г. в «14» часов «30» минут на заседании диссертационного совета Д212.081.18 в Казанском (Приволжском) федеральном университете по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Институт физики, аудитория 1407.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. Лобачевского Казанского (Приволжского) федерального университета.

Автореферат разослан «14» января 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета,
Доктор физ.-мат. наук, профессор

А.В. Карпов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена разработке методов анализа сложных шумоподобных низкоамплитудных сигналов на примере электрических сигналов поздних потенциалов желудочков сердца, на основе анализа их статистических и спектральных характеристик без предварительного временного и пространственного усреднения. Исследуются частотные характеристики, а также динамика основных параметров низкоамплитудных сигналов с локализацией источников.

Актуальность темы. Развитие и внедрение новых достижений радиоэлектроники предоставляет более широкие возможности в исследовании тонкой структуры электрических низкоамплитудных сигналов, регистрируемых в различных областях. Ранее для исследования таких сигналов использовались методы анализа на основе усреднения, которые применяются для выделения полезного сигнала на фоне различного рода шумов, но при этом теряется возможность исследования динамического развития характеристик сигнала.

Большое внимание, в том числе, уделяется компьютерной электрокардиографии, которая позволяет регистрировать и исследовать низкоамплитудные сигналы, являющиеся возможными предикторами внезапной остановки сердца. Такие сигналы наблюдаются на определенных участках электрокардиограммы и амплитуды этих сигналов ниже амплитуд основных пиков на 10-20 дБ (ниже 40 мкВ).

Трудности исследований обусловлены как шумовым характером сигналов, так и их низкими амплитудами, до сих пор не были выявлены их основные свойства и природа. В выполнявшихся до настоящего времени исследованиях низкоамплитудных кардиосигналов для их анализа не применялись хорошо развитые в радиофизике методы анализа шумов и, в основном, были получены только усредненные частотные характеристики. В связи с этим возникает необходимость в разработке новой методики регистрации и анализа низкоамплитудных сигналов, основанной на современных методах обработки, помогающей осуществлять своевременную диагностику электрической нестабильности миокарда.

Целью работы является разработка новых методических подходов, позволяющих исследовать характеристики шумоподобных низкоамплитудных кардиосигналов с использованием современных методов статистического и спектрального анализа шумов, а также провести анализ характеристик сигналов без предварительного временного и пространственного усреднения.

Решаемые задачи. Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

- разработка методических подходов для анализа статистических и спектральных характеристик низкоамплитудных сигналов без предварительного временного и пространственного усреднения;
- исследование частотно-временных закономерностей исследуемых нестационарных низкоамплитудных сигналов;
- разработка методики определения локализаций областей, являющихся источниками низкоамплитудных сигналов в миокарде.

Методы исследования. Решение поставленных задач базируется на данных, полученных с помощью компьютерного электрокардиографа высокого разрешения, разработанного на кафедре радиоастрономии КФУ, использовании методов статистической радиофизики, аппарата преобразования Фурье, вейвлет-преобразований и кросс-корреляционного анализа.

Научная новизна:

- на основе методов статистического анализа сложных шумоподобных сигналов впервые статистически надежно были определены параметры распределений флуктуационных и спектральных составляющих исследуемых низкоамплитудных сигналов;
- на основе методов спектрального анализа впервые проведено исследование частотно-временной структуры исследуемого сигнала, полученной методом вейвлет-преобразований;
- детально исследованы временные закономерности шумовых характеристик низкоамплитудных сигналов;
- на основе применения метода кросс-корреляции вейвлет-спектров записей низкоамплитудных сигналов от различных областей миокарда впервые была исследована взаимосвязь частотных характеристик низкоамплитудных сигналов, источники которых находятся в разных областях.

На защиту выносятся:

1. Методика анализа статистических и частотных характеристик нестационарных низкоамплитудных сигналов без предварительного временного и пространственного усреднения.
2. Результаты анализа временных закономерностей статистических и частотных характеристик низкоамплитудных сигналов.
3. Методика определения локализаций областей, являющихся источниками низкоамплитудных сигналов в миокарде.

Достоверность полученных результатов подтверждена использованием математического аппарата статистической радиофизики, известных и широко

применяемых методов спектрального анализа, а также статистически значимыми рядами исследуемых данных и длительностью наблюдений (обрабатывались данные, собранные за четыре года).

Практическая ценность работы. Разработанные методики анализа низковольтных сигналов дают возможность исследовать отдельно флуктуационную и квазипериодическую составляющие сигнала при анализе как самого сигнала, так и его спектра, что невозможно было получить использовавшимися ранее традиционными методами исследования. Применение методов статистического анализа при исследовании низковольтных сигналов позволяет определять тип распределения зарегистрированных амплитуд в каждом измерении низковольтных сигналов и вычислить значение параметра распределения, что определяет новую, ранее не измеряемую, количественную оценку исследуемых сигналов. Анализ шумовых характеристик сигналов от различных областей миокарда позволяет определять местоположение источников сигналов, определять их размеры и другие параметры. Вейвлет-анализ записей кардиосигнала позволяет исследовать их частотно-временную структуру, что дает возможность наблюдать эволюцию сигнала на протяжении выбранного отрезка записи электрокардиограммы. Кросс-корреляционный анализ вейвлет-спектров записей сигнала от различных участков позволяет определять области генерации различных частот.

Личный вклад автора. Автором лично были разработаны методики анализа низковольтных кардиосигналов. Разработанные методики были использованы при анализе записей низковольтных сигналов, выделенных непосредственно при участии автора из общего массива имеющихся записей. Автором также проведены необходимые расчеты, проанализированы полученные результаты.

Апробация результатов. Результаты работы докладывались и обсуждались на: 3-й международной конференции «Фундаментальные проблемы физики», Казань-2005; Конференции «Исследовательская деятельность молодежи и перспектива развития города и района», Зеленодольск-2005; Поволжской региональной молодежной конференции «Волновые процессы в средах», Казань-2007; 23-й Всероссийской научной конференции «Распространение радиоволн», Йошкар-Ола-2011; Научно-практической конференции «Клиническая электрофизиология и интервенционная аритмология», Томск-2006; Всероссийском национальном конгрессе кардиологов, Москва-2006; Всероссийском конгрессе «Неинвазивная электрокардиология в клинической медицине», Москва-2007; 2-м Конгрессе «Клиническая электрокардиология»,

С.-Петербург-2008, а также на научных семинарах и конференциях Казанского государственного университета (2002-2008 гг.).

Публикации. Автором опубликовано по теме диссертации 17 работ. Из них 9 статей в научных журналах (три по списку ВАК), 3 статьи в сборниках трудов научных конференций, 5 опубликованных тезисов докладов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и выводов. Содержит 108 страниц печатного текста, в том числе 36 рисунков и 3 таблицы. Список литературы содержит 112 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цели исследования, обозначена научная новизна, представлена практическая значимость результатов работы, изложена структура работы.

В первой главе представлены краткие сведения о природе биопотенциалов, механизме их формирования и обзор значимости низкоамплитудных кардиосигналов. Также представлена применяющаяся для выявления низкоамплитудных сигналов аппаратура, методы цифровой фильтрации и процедура сбора данных, на анализе которых базируется данная работа.

В обзоре рассматриваются физико-химические процессы, приводящие к возникновению биопотенциалов в миокарде, механизм формирования разности потенциалов на поверхности миокарда, а также существующие на сегодняшний день методы регистрации биопотенциалов. Приводится описание характеристик сигналов поздних потенциалов желудочков сердца, а также обзор современных работ, относящихся к изучению этих низкоамплитудных сигналов.

Представленные в первой главе обзорные материалы дают представление об исследуемых сигналах, а также позволяют определить актуальность исследований и сформулировать основные задачи.

В аппаратной части описан разработанный на кафедре радиоастрономии КФУ компьютерный электрокардиограф высокого разрешения, с помощью которого была набрана анализируемая в данной работе база записей электрокардиограмм. Данный прибор позволяет преобразовать входной аналоговый сигнал в дискретную цифровую последовательность отсчетов, которая и являлась предметом последующего анализа (длина фрагмента сигнала, выделяемого для дальнейшего анализа, составляла 106 мс).

Краткие технические характеристики электрокардиографа:

- диапазон входных напряжений, В – $\pm 1,3$;
- разрядность аналого-цифрового преобразователя (АЦП) – 10;

- частота дискретизации входного сигнала, Гц – 1200.

Также в этой главе приведены методы цифровой фильтрации, которые могут использоваться для обработки записей, а также описана методика выделения временных реализаций низкоамплитудных сигналов из общей базы данных.

Во второй главе представлены методы анализа временных рядов, используемых для исследования низкоамплитудных сигналов. Рассматриваются теория статистического анализа радиошумов, метод преобразования Фурье и метод вейвлет-преобразований, которые были использованы в ходе работы для анализа сигналов.

Кратко излагается метод проверки гипотезы о виде функции распределения случайной величины и описываются использованные критерии согласия Колмогорова и χ^2 .

Приводится краткая методика спектрального исследования шумов с использованием классического преобразования Фурье и оконного преобразования Фурье.

Применение данных методов позволило надежно определить виды распределений амплитуд записей и амплитуд спектральных составляющих исследуемых сигналов, а также получить значения статистических параметров распределений этих сигналов.

Далее изложены основания перехода от преобразования Фурье к вейвлет-преобразованию, применительно к анализу исследуемых низкоамплитудных сигналов. В отличие от преобразования Фурье, вейвлет-преобразование является очень удобным инструментом для анализа коротких высокочастотных сигналов или сигналов с локализованными частотами, поскольку элементы его базиса хорошо локализованы и обладают подвижным частотно-временным окном. Эти свойства вейвлет-преобразований дают возможность детально исследовать эволюцию нестационарного сигнала в течение одной записи.

В главе приведена методика частотно-временного анализа шумов с применением вейвлета Морле, представляющего собой гармоническое колебание, промодулированное функцией Гаусса. Аналитическое представление вейвлета Морле задается следующим выражением:

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} e^{i\Omega t}$$

Выбор вейвлета Морле был обусловлен следующими причинами:

- поскольку исследования низкоамплитудных сигналов традиционными сигнал-усредненными методами показали квазипериодический характер вариаций сигнала, логично применить для анализа вейвлет Морле, который обычно применяют при анализе периодических и квазипериодических процессов;

- вейвлет Морле является одним из наиболее распространенных и изученных на сегодня вейвлет-преобразований, а также дает хорошее разрешение как во временной, так и в частотной областях;
- вейвлет Морле хорошо приспособлен для анализа квазипериодических процессов, поскольку имеет хорошую локализацию в частотном пространстве;
- вейвлет Морле позволяет наглядно представить результаты анализа и легко интерпретировать их в терминах анализа Фурье.

Метод вейвлет-преобразований позволил проанализировать частотно-временную структуру низкоамплитудных сигналов, исследовать их статистические и частотные характеристики, а также временные закономерности этих характеристик.

Постоянная Ω для вейвлета Морле была принята равной 2π , так как при этом значении вейвлет-масштаба всегда будет в точности соответствовать периоду анализируемых колебаний.

Оценка конуса влияния для максимального рассматриваемого масштаба показала, что при имеющейся длине ряда краевые эффекты не вносят существенных искажений.

Дополнительно описан аппарат кросс-корреляции вейвлет-спектров, который также использовался в проводимых исследованиях для сопоставления вейвлет-спектров низкоамплитудных сигналов с разной локализацией источников или зарегистрированных в разное время.

В третьей главе приведены результаты исследований низкоамплитудных сигналов с применением аппарата Фурье преобразований.

Анализ записей низкоамплитудных кардиосигналов и их спектров имеют различный физический смысл. Так, анализ самих записей позволяет изучать флуктуационную часть сигнала, а анализ спектров позволяет выявлять и изучать его периодическую и квазипериодическую компоненты.

Приведены результаты проверки записей низкоамплитудных сигналов, на принадлежность к одному из трех заранее выбранных типов распределений: нормальному, пуассоновскому и рэлеевскому, а также результаты аналогичной проверки спектров сигналов, полученных методом быстрого преобразования Фурье.

Для каждого участка реализации временного ряда с исследуемыми низкоамплитудными сигналами выдвигались гипотезы о виде функции распределения и применялись критерии согласия Колмогорова и χ^2 с различными доверительными интервалами. Поскольку в научной литературе пока нет информации о вероятных характеристиках распределения амплитуд в низкоамплитудных кардиосигналах, в качестве базовых использовались широко известные распре-

деления Гаусса, Рэлея и Пуассона, так как хорошо известно, что каждое из них соответствует различным моделям шумовых характеристик.

Наиболее распространенное нормальное распределение, или распределение Гаусса, характеризует процессы шумового характера, на которые одновременно влияет множество разных факторов. Существующие литературные обзоры показывают, что механизмы формирования исследуемых низкоамплитудных сигналов тоже характеризуются многофакторностью (хотя количественные шумовые характеристики ранее никем не исследовались).

Довольно часто при практическом анализе шумов в радиофизике используется распределение Пуассона, которое характеризует вероятность распределения случайных редких событий. Распределение Пуассона, очевидно, является другим предельным случаем распределения шумовых характеристик: источников сигналов мало, они независимы друг от друга и сигналы, исходящие от них кратковременны. Такое предположение не противоречит некоторым механизмам возникновения поздних потенциалов желудочков, согласно обзорам.

В качестве промежуточного вида распределения шумовых характеристик было выбрано распределение Рэлея, поскольку вид этого распределения в зависимости от значения дисперсии по форме может быть похож на оба предельных распределения, которые были упомянуты выше, и являться переходным между предельными случаями.

Результаты анализа (рис. 1) показали, что практически все полученные записи, содержащие низкоамплитудные сигналы, подчиняются нормальному закону распределения. По-видимому, это свидетельствует о том, что в большинстве случаев низкоамплитудные сигналы из разных областей миокарда появляются независимо друг от друга и не совпадают ни по времени, ни по амплитуде.

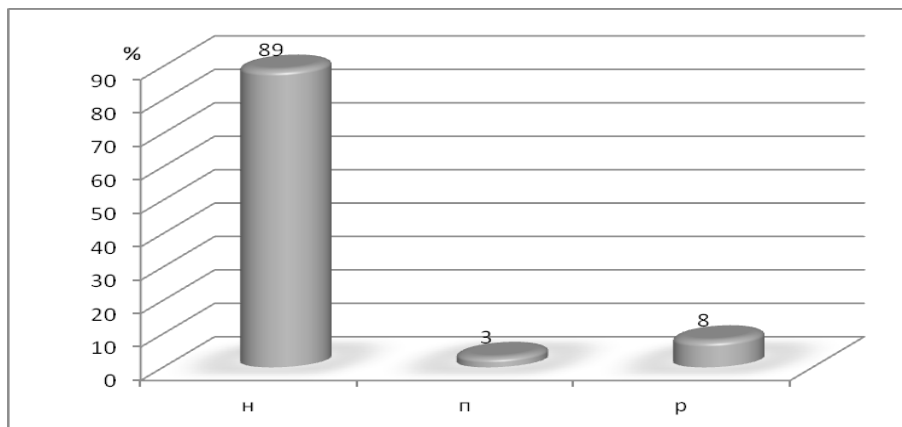


Рис. 1. Количество записей низкоамплитудных кардиосигналов (в %), соответствующих различным распределениям (р – рэлеевское, п – пуассоновское, н – нормальное распределения)

Из 326 записей рэлеевскому распределению с дисперсией от 1,4 до 27,8 удовлетворяют 26 (8 %), пуассоновскому распределению с константой λ от 2,19 до 15,09 соответствуют 10 (3 %), нормальному закону с дисперсией от 0,23 до 3,61 – 290 (89 %).

Чтобы проанализировать периодическую и квазипериодическую составляющую сигналов необходимо рассмотреть спектры для отдельных записей. Далее, как и для самих записей, для спектров также выдвигались гипотезы о виде функции распределения с различными доверительными интервалами. Результаты приведены на рис. 2.

Из 291 полученного спектра 144 (49,5 %) оказались нормальными с дисперсией от 0,002 до 1,52, 85 (29,2 %) принадлежали к распределению Пуассона с константой распределения λ от 0,0007 до 3,02, 62 (21,3 %) – к распределению Рэлея с дисперсией от 0,004 до 1,11.

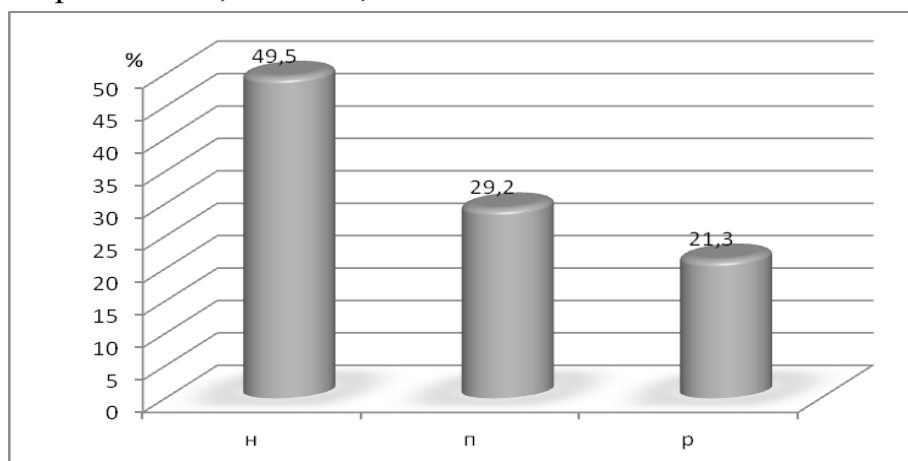


Рис. 2. Количество спектров низкоамплитудных сигналов, соответствующих различным распределениям. (р - рэлеевское, п - пуассоновское, н - нормальное или гауссово)

Таким образом, результаты анализа спектров записей низкоамплитудных сигналов показывают, что почти в половине случаев они обусловлены действием большого количества независимых источников квазипериодических сигналов для данной регистрации. Почти треть (29 %) обусловлена источниками в виде редких событий (распределение Пуассона), и примерно 20 % относится к промежуточному случаю.

Далее в работе приведены результаты исследования кратковременной и длительной динамики параметров низкоамплитудных сигналов.

Кратковременной динамикой будем называть динамику параметров сигнала в течение одной записи. Для исследования кратковременной динамики анализировались 5-6 последовательно регистрируемых в записи области с низкоамплитудными сигналами. Для каждой из них проводился анализ на принад-

лежность к одному из вышеупомянутых распределений (нормальное, рэлеевское, пуассоновское).

Представлены результаты анализа кратковременной динамики параметров низкоамплитудных сигналов.

Результаты исследования показали, что в течение одной временной реализации значения параметров распределений располагаются около некоторого среднего значения, но наблюдаются отклонения значения параметров отдельных областей с низкоамплитудными сигналами от параметров соседних областей. Также наблюдаются случаи, когда значения параметров плавно изменяются, возрастая или уменьшаясь. Такой тип исследования дает дополнительный инструмент наблюдения кратковременных изменений параметров низкоамплитудных сигналов.

В работе также приводятся результаты исследования длительной динамики. В данном случае рассматривались изменения значений параметров распределения низкоамплитудных сигналов в течение двух недель.

По результатам исследований долговременной динамики можно проследить изменения, происходящие со временем. Анализируя записи низкоамплитудных сигналов от разных областей, а также их спектры в течение длительного времени (двух недель) предположительно можно проследивать динамику количества источников сигналов, изменение локализации источников и другие характеристики.

На рис. 3 приведен пример исследования длительной динамики параметров низкоамплитудных сигналов.

Чтобы более четко увидеть динамику параметров низкоамплитудных сигналов во времени, представлены результаты сравнения параметров сигналов от разных областей на 2 и 14 дни.

Для регистрации сигналов от различных областей миокарда используются различные системы отведений, которые представляют собой конкретную систему расположения регистрирующих электродов на теле человека для записи электрокардиограммы.

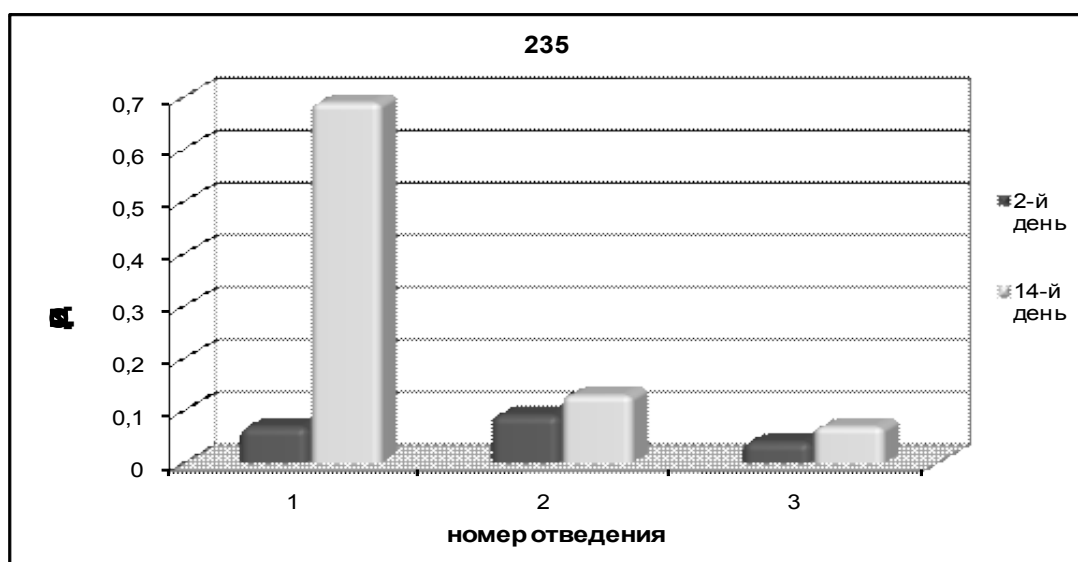


Рис. 3. Распределение дисперсии в трех отведениях на 2-й и 14-й дни

Результаты количественного анализа показали, что во 2 и 14 день пребывания в стационаре источники сигналов находились практически в одних и тех же областях. Также отмечено, что в первом отведении существенно увеличилась дисперсия (в 10 раз), а во 2 и 3 отведениях изменений практически не произошло. Такое изменение указывает на увеличение источников сигналов к 14 дню.

В четвертой главе приведены результаты частотно-временного анализа записей низкоамплитудных сигналов, проведенного методом вейвлет-преобразований.

Представлены результаты анализа 113 записей низкоамплитудных сигналов. Для каждой записи вычислялись вейвлет-спектр и модуль комплексного спектра, т.е. амплитудный спектр, в котором колебания вдоль оси времени отсутствуют.

Анализ спектров вейвлет-преобразований позволяет наблюдать эволюцию сигнала на протяжении выбранного отрезка времени.

Анализ модулей спектров позволяет более точно, чем на самом спектре, выделить частоты с наибольшей амплитудой.

Для медиков наибольший интерес представляют области так называемых высоких ($90 \div 150$ Гц) и средних ($50 \div 90$ Гц) частот. Полученные данные показали, что 46 % выявленных частот попадают в диапазон $55 \div 70$ Гц почти во всех отведениях, а в целом, в область средних попадает 79 % всех выявленных частот. Остальные регистрируются как высокие.

Далее в работе приводятся результаты анализа частот по каждому отведению в отдельности. В первом отведении максимальное количество выявленных частот (16 %) оказались в диапазоне $55 \div 60$ Гц; во втором (27 %) – в диапазоне

70 ÷ 75 Гц, в третьем (23 %) – в 55 ÷ 60 Гц, в четвертом (31 %) – в диапазоне 70 ÷ 75 Гц, в пятом (33 %) – в 55 ÷ 60 Гц и в шестом (20 %) – в 60 ÷ 65 Гц.

Рассмотрены результаты исследования кратковременной и длительной динамики частотных характеристик низкоамплитудных сигналов, полученные при анализе вейвлет-спектров регистраций, содержащих низкоамплитудные сигналы.

Из примера кратковременной динамики (рис. 4) можно видеть, что некоторые из наблюдаемых частот присутствуют во всех приведенных спектрах, но, в то же время, частотные картины для каждой отдельной области отличаются друг от друга по набору частотных составляющих. Эти различия могут проявляться в большей или меньшей степени, в зависимости от рассматриваемого конкретного случая, а данная методика позволяет отследить изменения, проявляющиеся в спектрах исследуемых сигналов. Применяемые ранее методы, основанные на усреднении сигналов по 300 - 500 циклам, не позволяли этого обнаружить.

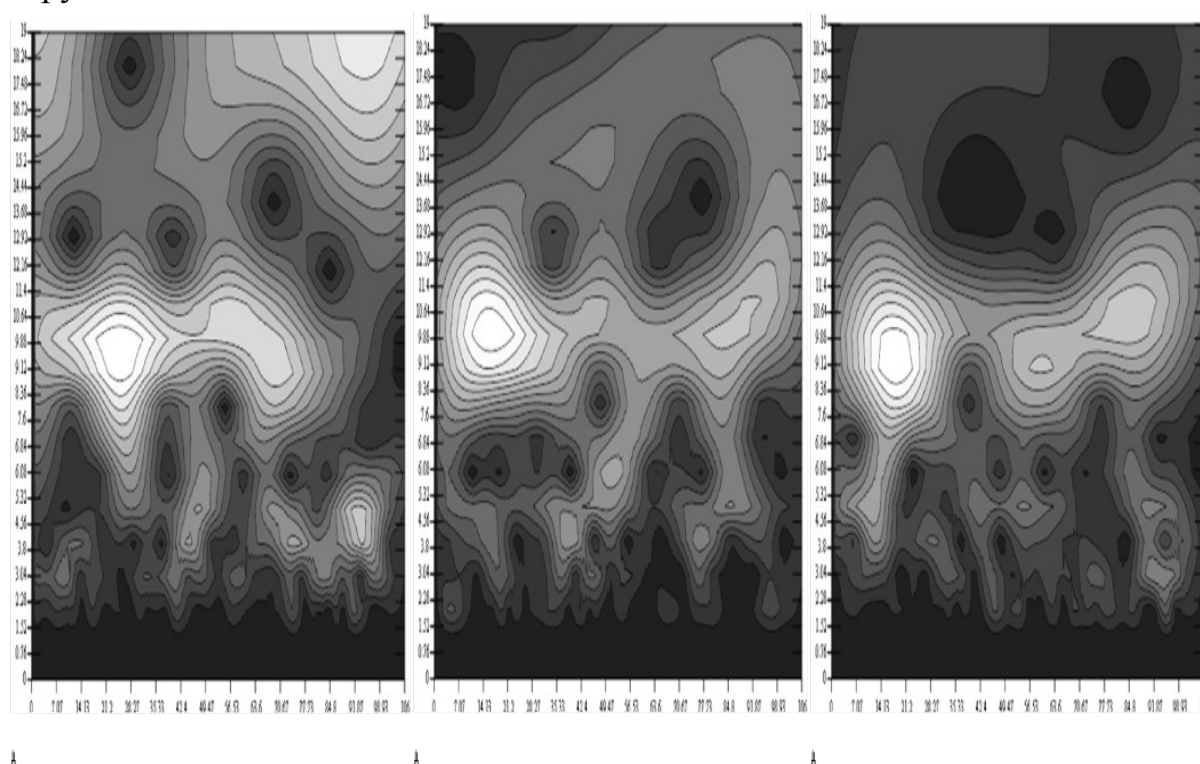


Рис. 4. Пример кратковременной динамики для трех последовательных записей областей с низкоамплитудными сигналами. На всех рисунках изображены модули вейвлет-спектров, где по оси абсцисс отложено время, а по оси ординат – период колебаний. Светлые участки определяют области более высокой амплитуды, что говорит о наличии в сигнале тех или иных частот

Далее рассматриваются результаты применения аппарата кросс-корреляции. Для каждой анализируемой области сигнала были получены вейвлет-спектр и модуль комплексного спектра.

Несмотря на некоторое сходство вейвлет-спектров сигналов от разных областей, трудно на глаз определить для каких частот и в какое время по длительности будет иметь место корреляция сигналов. На рис. 5 приведены кросс-вейвлет-спектры для низкоамплитудных сигналов в следующих отведениях – 2-3, 2-4, 2-5, 3-4, 3-5 (сверху вниз).

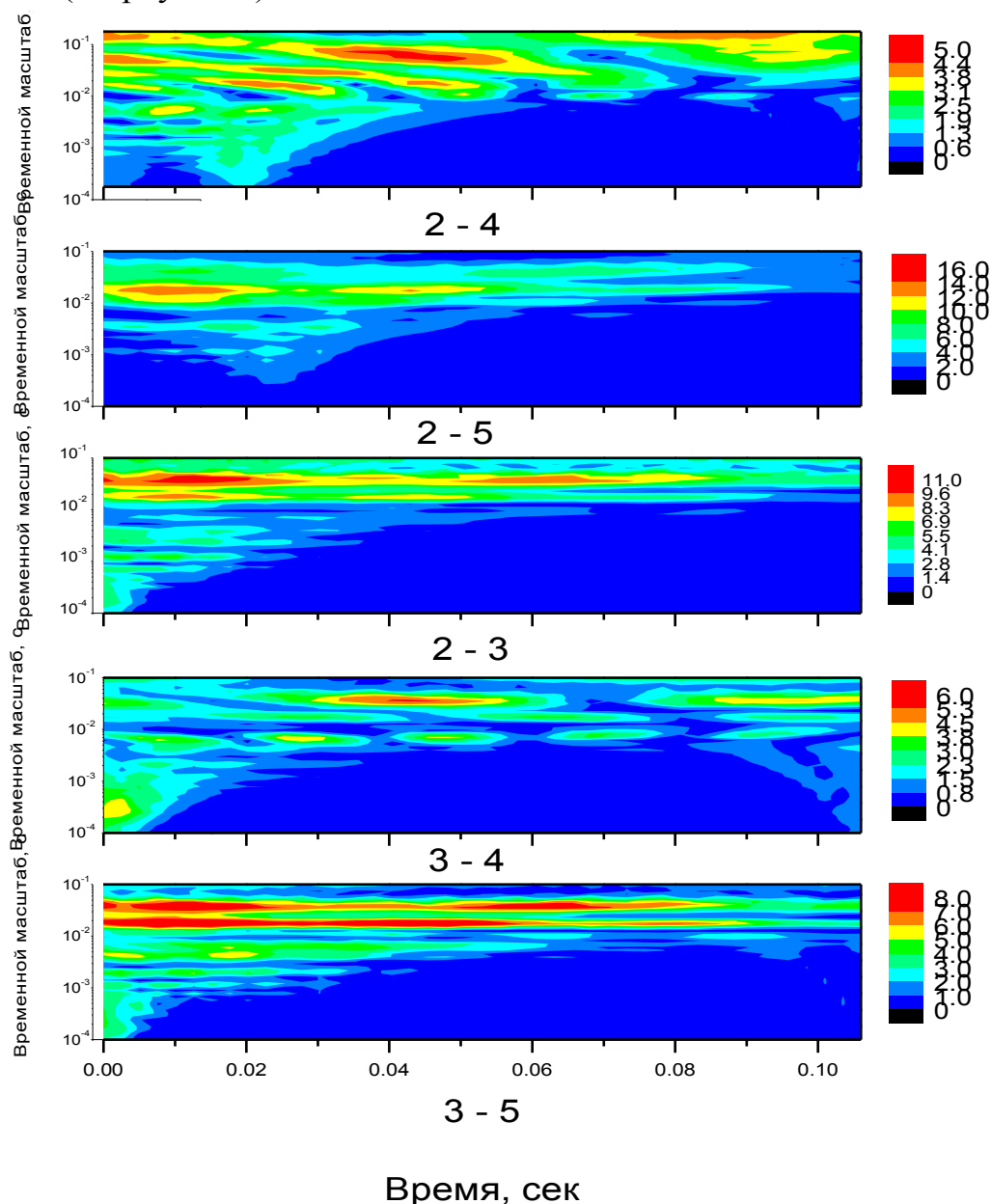


Рис. 5. Кросс-вейвлет спектры для следующих пар отведений – 2-4, 2-5, 2-3, 3-4, 3-5 (сверху вниз)

Таким образом, из полученных спектров можно сделать вполне очевидные количественные выводы. Положительная высокая корреляция наблюдается для сигналов в отведениях – 2-3, 2-4, 2-5, 3-4, 3-5, однако диапазон частот и дли-

тельность этой корреляции в большинстве случаев существенно различаются. Так, для отведений 2-3, диапазон частот довольно узкий в окрестности 19 Гц и наблюдается в первой и третьей четвертях регистрации низкоамплитудных сигналов. Для отведений 2-4 диапазон частот высокой корреляции существенно шире 19 ÷ 45 Гц, наблюдается в виде достаточно коротких отрезков времени по всей регистрации. Для отведений 2-5 диапазон частот высокой корреляции не широк – в окрестности 29 Гц, отмечается в самом начале регистраций в течение 6 мсек и в третьей четверти в течение 6 мсек. Для отведений 3-5 диапазон частот высокой корреляции тоже не широк – вблизи 29 Гц, отмечается в самом начале регистрации в течение 10 мсек и в третьей четверти в течение 9 мсек, а для отведений 3-4 наблюдается на 17 Гц в третьей четверти в течение 5 мсек. Подобные результаты отмечены и в других регистрациях низкоамплитудных сигналов – иногда различия в результатах кросс-вейвлет анализа были еще более впечатляющие.

Необходимо обратить внимание, что каждая запись низкоамплитудных сигналов в грудных отведениях соотносится с определенной локализацией на миокарде, что является большим достоинством данного метода анализа низкоамплитудных кардосигналов. Подобные закономерности обнаружены впервые.

В заключении приведены основные результаты работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Разработаны методические подходы для анализа статистических и спектральных характеристик низкоамплитудных сигналов без предварительного временного и пространственного усреднения. Анализ большого массива временных реализаций низкоамплитудных сигналов (выборка производилась из более чем 15000 записей) с применением математического аппарата статистической радиофизики позволил определить с высокой статистической достоверностью законы распределения шумовых характеристик сигналов и получить значения параметров распределений. Анализ с применением аппарата вейвлет-преобразований позволил изучить частотно-временную структуру исследуемых сигналов и выявить временные и пространственные закономерности.
2. Результаты анализа записей низкоамплитудных кардосигналов показали, что практически все выделенные записи, содержащие низкоамплитудные сигналы, подчиняются нормальному закону распределения (89 %). По-видимому, это свидетельствует о том, что в большинстве случаев низкоамплитудные сигналы из разных областей миокарда появляются независимо друг от друга и не совпадают ни по времени, ни по амплитуде. Результаты анализа частотных

спектров отдельных регистраций низкоамплитудных сигналов показывают, что почти половина из них (49 %) обусловлена действием большого количества независимых источников квазипериодических сигналов для данной реализации. Почти треть (29 %) обусловлена источниками в виде редких событий (распределение Пуассона). Примерно 20 % спектров подчиняются рэлеевскому распределению, т. е. промежуточному между большим количеством независимых источников квазипериодических сигналов для данной регистрации и источниками в виде редких событий (распределение Пуассона).

3. Результаты анализа низкоамплитудных сигналов, полученные при помощи аппарата вейвлет-преобразований, показали, что 46 % выявленных частот попадают в диапазон $55 \div 70$ Гц почти во всех отведениях. В целом, в область $55 \div 90$ Гц попадает 79 % всех выявленных частот, а в область $90 \div 150$ Гц все остальные регистрируемые частоты. Результаты анализа частот по каждому отведению в отдельности показали следующее: в первом отведении максимальное количество выявленных частот (16 %) оказались в диапазоне $55 \div 60$ Гц; во втором (27 %) – в диапазоне $70 \div 75$ Гц, в третьем (23 %) – в $55 \div 60$ Гц, в четвертом (31 %) – в диапазоне $70 \div 75$ Гц, в пятом (33 %) – в $55 \div 60$ Гц и в шестом (20 %) – в $60 \div 65$ Гц. Из приведенных данных следует, что от различных областей миокарда регистрируются низкоамплитудные сигналы с максимумами интенсивности в разных частотных диапазонах. Кроме того, полученные результаты показывают, что диапазоны частот сигналов, регистрируемых от разных областей миокарда, также различаются. Использование разработанных методических подходов для анализа нестационарных низкоамплитудных сигналов позволило впервые детализировать частотно-временную структуру исследуемых сигналов, выявить количественные различия спектральных характеристик сигналов от различных областей миокарда.

4. Разработана методика определения локализаций областей, являющихся источниками низкоамплитудных сигналов, с помощью которой выявлено, что статистические характеристики низкоамплитудных сигналов не зависят от области, в которой находятся источники сигналов, в то время как применение метода кросс-корреляции вейвлет-спектров низкоамплитудных сигналов впервые позволило выявить взаимосвязь низкоамплитудных сигналов, регистрируемых от разных областей миокарда, что дает возможность определения масштабов и количественных характеристик аномалий.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Из списка ВАК:

- 1) Тептин Г. М. Некоторые характеристики низкоамплитудных кардиосигналов // Г. М. Тептин, И. А. Латфуллин, Л. Э. Мамедова, З.Ф. Ким / Известия ВУЗов. Радиофизика. – Нижний Новгород. – 2011. – Т. 54, № 3. – С. 234-241. (Переведена и опубликована: Teptin G. M. Some characteristics of low-amplitude cardiac signals // G. M. Teptin, I. A. Latfullin, L. E. Mamedova, Z. F. Kim / Radiophysics and Quantum Electronics. – N. Novgorod. – 2011. – V. 54, No.3. – P. 210-217.)
- 2) Латфуллин И. А. Новые параметры динамики низкоамплитудных кардиосигналов // И. А. Латфуллин, Г. М. Тептин, Л. Э. Мамедова / Казанский медицинский журнал. – Казань. 2005. – №3. – С. 237-241.
- 3) Латфуллин И. А. Характеристики поздних потенциалов желудочков сердца и анализ их динамики по локализации // И.А. Латфуллин, Л.Э. Мамедова, Г.М. Тептин / Казанский медицинский журнал. – Казань. – 2008. – Т.89, №2. – С. 149-153.

Прочие публикации:

- 4) Тептин Г. М. Исследование характеристик низкоамплитудных кардиосигналов с применением вейвлет-преобразований // Г. М. Тептин, И. А. Латфуллин, Л. Э. Мамедова / Ученые записки КГУ. – Казань. – 2006. – Т. 148, Книга 3. – С. 116-125.
- 5) Мамедова Л. Э. Исследование кратковременной динамики частотных характеристик низкоамплитудных кардиосигналов // Л. Э. Мамедова, Г. М. Тептин, И. А. Латфуллин, З. Ф. Ким / Сборник докладов 23-й Всероссийской научной конференции «Распространение радиоволн». – Йошкар-Ола. – 2011. – С. 124-127.
- 6) Мамедова Л. Э. Шумовые характеристики низкоамплитудных кардиосигналов и их анализ по локализации // Л. Э. Мамедова, Г. М. Тептин, И. А. Латфуллин / Прием и обработка информации в сложных информационных системах. – Казань. – 2005. – выпуск 22. – С. 120-126.
- 7) Mamedova L. E. New possibilities for analysis of low amplitude cardial signals with use of wavelet transformations // Environmental radioecology and applied ecology. – Kazan. – 2006. – Vol.12, No.4. – P. 39-54.
- 8) Teptin G. M. Analysis of the radiophysical methods of investigation of ventricular late potentials (literature rewiew) // G. M. Teptin, I. A. Latfullin, Z. F. Kim,

- L. E. Mamedova / Environmental radioecology and applied ecology. – Kazan. – 2010. – Vol.16, №1. – P. 3-20.
- 9) Тептин Г. М. Исследование шумовых характеристик низкоамплитудных кардиосигналов и их динамики // Г. М. Тептин, Л. Э. Мамедова, И. А. Латфуллин / Сборник тезисов 3-й международной конференции «Фундаментальные проблемы физики». – Казань. – 2005. – С. 91.
 - 10) Mamedova L. E. Wavelet analysis of late potentials of ventricles // L. E. Mamedova, I. A. Latfoullin, G. M. Teptin / Environmental radioecology and applied ecology. – Kazan. – 2006. – Vol.12, No.3. – P. 27-38.
 - 11) Латфуллин И. А. Шумовые характеристики поздних потенциалов желудочков сердца и их интерпретация // И. А. Латфуллин, Г. М. Тептин, С. В. Контуров, Л. Э. Мамедова / Фундаментальные исследования. – Москва. – 2004. – №1. – С. 63-64.
 - 12) Teptin G. M. Analysis of low amplitude cardial signals and its interpretation // G. M. Teptin, S. W. Kontourov, L. E. Mamedova, I. A. Latfoullin / Environmental radioecology and applied ecology. – Kazan. – 2004. – Vol.10, No.1. – P. 3-7.
 - 13) Мамедова Л. Э. Сравнительный анализ низкоамплитудных кардиосигналов сигналусредненным методом и с помощью вейвлет-преобразований // Л. Э. Мамедова, Д. Ф. Ахиярова, Л. С. Филочкина / Сборник докладов поволжской региональной молодежной конференции «Волновые процессы в средах». – Казань. – 2007. – С. 85-88.
 - 14) Мамедова Л. Э. Методика статистической обработки регистраций поздних потенциалов желудочков сердца (ППЖ) // Сборник тезисов итоговой научной студенческой конференции физического факультета КГУ. – Казань. – 2002. – С. 20.
 - 15) Мамедова Л. Э. Радиофизический анализ низкоамплитудных кардиосигналов и их локализаций // «Исследовательская деятельность молодежи и перспектива развития города и района». Материалы конференции. – Зеленодольск. – 2005. – С. 44-47.
 - 16) Мамедова Л. Э. Разработка методики статистической обработки пульсограмм // Сборник тезисов докладов итоговой научной студенческой конференции 2002 года, межфакультетская секция "Образование и здоровье". – Казань. – 2002. – С. 136-137.
 - 17) Мамедова Л. Э. Применение радиофизических и статистических методов при анализе регистраций сердечной деятельности // Сборник тезисов итоговой научной студенческой конференции, межфакультетская секция "Образование и здоровье". – Казань. – 2003. – С. 217-218.

Отпечатано в редакционно-издательском отделе АлтГПА

Тираж 100 экз. Заказ №
656031, г. Казань, ул. Молодежная, 55,
т. 38-88-46; 38-88-47